

EFEK KONSENTRASI PARTIKEL CuO DAN TiO₂ TERHADAP FAKTOR GESEKAN DAN KERUGIAN JATUH TEKANAN ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA LURUS

Sri Poernomo Sari^{1*}, Muhammad Alfin A.P² dan Astuti³

^{1,2} Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Jakarta

³ Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

e-mail: sri_ps@staff.gunadarma.ac.id

ABSTRAK :

Penelitian nanofluida masih berlangsung hingga saat ini. Faktor gesekan mempengaruhi penurunan tekanan pada aliran. Penambahan nanopartikel mengakibatkan aliran fluida memiliki kerugian lebih kecil daripada fluida tanpa nanopartikel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh konsentrasi partikel CuO dan TiO₂ terhadap faktor gesekan dan penurunan tekanan aliran nanofluida pada pipa lurus permukaan halus. Pengujian dilakukan dengan pipa acrylic mempunyai diameter dalam 10 dan 15 mm. Konsentrasi nanofluida adalah 20 dan 40 ppm. Karakteristik nanofluids dihitung secara numerik. Bilangan Reynolds, faktor gesekan dan kerugian jatuh tekanan dihitung dengan laju aliran secara periodik. Hasil menunjukkan bahwa sifat aliran dipengaruhi oleh penambahan partikel nano. Penambahan cupric oxide dan titanium dioxide dalam aliran laminar dan turbulen efektif untuk pipa permukaan halus. Faktor gesekan meningkatkan kerugian jatuh tekanan. Faktor gesekan dan kerugian jatuh tekanan dari aliran di dalam pipa lurus permukaan halus dengan penambahan partikel TiO₂ lebih kecil daripada CuO pada bilangan Reynolds 2 x 10⁴ hingga 10 x 10⁵. Konsentrasi partikel CuO dan TiO₂ meningkat maka menurunkan kerugian jatuh tekanan di dalam aliran fluida.

Kata kunci: konsentrasi, faktor gesekan, kerugian jatuh tekanan, nanofluida

1. PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah merambah ke dalam banyak bidang, salah satunya dalam ilmu bahan dan material. Material yang memiliki komponen penyusun berukuran nano memiliki sifat fisik dan kimia yang lebih baik jika dibandingkan dengan material dengan ukuran bulk. Nanomaterial didefinisikan sebagai partikel (crystalline atau amorphous) organik atau anorganik yang memiliki ukuran antara 1 hingga 100 nm [1]. Oleh karena itu partikel berukuran nano kini telah banyak diaplikasikan ke dalam berbagai teknologi dan industri potensial seperti sebagai bahan campuran katalis kimia dan sebagainya [2]. Ukuran akan sangat mempengaruhi sifat dari partikel berukuran nano. Hal ini berkaitan dengan fakta yang menunjukkan bahwa perubahan ukuran partikel akan mengubah rasio luas permukaan dengan volume partikel tersebut. Luas permukaan yang besar, memberikan presentase permukaan atom yang besar juga. Hal ini dapat

dimanfaatkan dan diterapkan dalam banyak industri yang potensial, seperti proses katalis karena meningkatnya reaksi kimia, bidang elektronik dengan perangkat berukuran nano, bidang energi seperti pembuatan perangkat photonic berupa sel surya dengan tingkat efisiensi yang lebih baik, bidang farmasi bidang kedokteran dan sebagainya [3]. Klasifikasi nanomaterial dikelompokkan berdasarkan dimensi karena ukuran akan mempengaruhi sifat-sifat yang dimiliki oleh nanomaterial tersebut [4,5]. Sifat nanomaterial sangat berbeda dan jauh lebih baik jika dibandingkan dengan partikel dengan ukuran yang lebih besar. Perubahan sifat terjadi karena adanya perubahan ukuran butiran partikel yang menjadi lebih kecil, presentase atom yang besar dan interaksi antar butiran partikel. Sifat mekanik, elektrik, optik dan magnet yang dimiliki nanomaterial lebih baik jika dibandingkan dengan sifat material dengan ukuran bulk. Hal ini membuat nanomaterial menjadi sangat penting dalam bidang teknologi modern [6]

Cupric oxide atau CuO merupakan jenis oksida dari tembaga, dan merupakan semikonduktor tipe-p. Semikonduktor ini memiliki struktur monoklinik. CuO nanostruktur dengan area permukaan yang luas dan dampak ukuran yang potensial memiliki sifat fisika dan kimia yang sangat baik, yang membuatnya berbeda dari ukuran mikro atau ukuran bulk [7,8]. Titanium dioxide atau TiO₂ pertama kali diproduksi secara komersial pada tahun 1923. TiO₂ merupakan semikonduktor dengan aktivitas photocatalytic yang memiliki potensi untuk penerapan dalam pemurnian lingkungan, dekomposisi dari carbonic acid gas, dan generation of hydrogen gas. Perbedaan metode dalam mensintesis TiO₂ memberikan hasil yang berbeda-beda pada sifat nanomaterial tersebut [9].

Friction losses merupakan sebuah kerugian dalam suatu aliran karena adanya gesekan antara partikel fluida di dalam aliran tersebut. Kekasaran permukaan dinding media penghantar fluida juga menjadi salah satu faktor tersebut. Friction factor dalam suatu aliran fluida sangat diperhatikan karena merupakan faktor yang mempengaruhi pressure drop dalam suatu aliran. Seperti yang telah diketahui bahwa sifat fisik nanopartikel sangat baik karena memiliki luas permukaan atom yang besar, sehingga membuat nanopartikel lebih efisien. Oleh karena itu dengan mencampurkan nanopartikel ke dalam suatu fluida diharapkan aliran dalam fluida tersebut memiliki losses yang lebih kecil dibandingkan dengan fluida tanpa nanopartikel.

2. METODE PENELITIAN

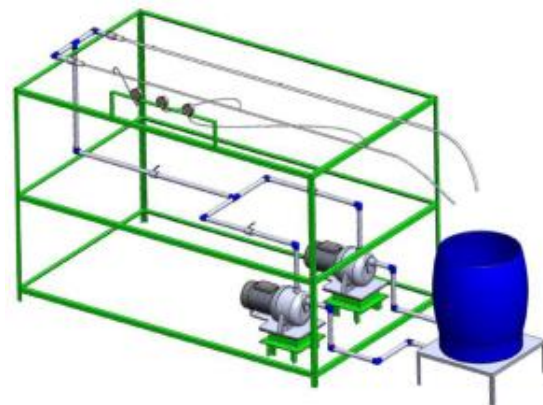
Perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu menghitung karakteristik nanofluida dengan konsentrasi yang telah ditentukan, lalu melakukan pengujian untuk menganalisis karakteristik aliran, friction factor dan pressure drop dalam pipa menggunakan nanofluida CuO serta TiO₂ dengan fluida dasar air, serta menggunakan fluida air sebagai pembanding untuk nanofluida tersebut.

Nanopartikel yang digunakan adalah cupric oxide atau CuO dan titanium dioxide atau TiO₂ dengan menggunakan fluida dasar air. Variasi konsentrasi nanofluida yang digunakan adalah 20 dan 40 part per million (ppm). Media yang digunakan untuk aliran fluida adalah pipa acrylic, dengan diameter dalam 10 dan 15 mm. Waktu yang digunakan setiap pengambilan data volume fluida air dan nanofluida adalah 5 detik.

Pipa adalah alat transportasi fluida baik cair maupun gas yang banyak dipakai di industri, gedung, dan perumahan. Kerugian jatuh tekan merupakan hal penting dalam sistem aliran dalam pipa karena berhubungan dengan penggunaan energi. Kerugian jatuh tekan erat kaitannya dengan nilai koefisien gesek yang terjadi dalam aliran. Koefisien gesek adalah koefisien pergesekan antara aliran fluida yang mempunyai kecepatan rendah dengan aliran fluida yang mempunyai kecepatan lebih tinggi. Usaha peneliti untuk mengurangi kerugian jatuh tekan ada bermacam cara. Salah satu usaha pengurangan kerugian jatuh tekan adalah memasukkan partikel ke dalam pelarutnya. Partikel nano sangat menarik untuk diteliti karena masih sedikit data dan masih banyak hal yang

belum diketahui dengan jelas. Cupric oxide (CuO) dan titanium dioxide (TiO₂) digunakan dalam penelitian ini dengan variasi perubahan kecepatan aliran dan konsentrasi fluida kerja. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis faktor luas penampang pipa terhadap karakteristik suatu aliran nanofluida CuO dan TiO₂; menganalisis Reynolds number, friction factor dan kerugian jatuh tekan dari fluida air, nanofluida CuO serta TiO₂; menganalisa pengaruh pemberian partikel CuO serta TiO₂ terhadap kerugian jatuh tekan (pressure drop) aliran nanofluida di dalam pipa mulus. Semakin panjang pipa, semakin kecil diameter pipa dan semakin cepat aliran maka nilai kerugian jatuh tekan semakin besar.

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 1 dimana fluida yang akan diuji ditempatkan pada penampung fluida (tank) kemudian dari penampungan ini akan ada dua saluran keluar dimana saluran pertama akan terhubung dengan pompa 1 dan saluran kedua terhubung dengan pompa 2. Ujung keluaran dua pompa akan bersatu dalam pipa penyalur. Pipa penyalur akan menyalurkan fluida menuju pipa uji. Dimana pipa uji terdiri atas 2 buah pipa acrylic penampang lingkaran dengan diameter 10 mm dan 15 mm panjang 1200 mm.



Gambar 1. Eksperimental set-up

Pipa penyalur akan dihubungkan dengan manifold untuk mendistribusikan aliran ke semua pipa uji. Masing-masing ujung pipa uji diberikan katup sebagai pengatur debit aliran. Katup pipa uji lain akan ditutup saat sedang melakukan percobaan terhadap salah satu pipa uji. Pada jarak 300 mm, 600 mm dan 900 mm dipasang pressure gauge saat pengujian dilakukan. Pada saluran keluar fluida dipasang sebuah gelas ukur dimana gelas ukur ini berfungsi untuk menampung volume fluida yang keluar per satuan waktu (pengukuran debit). Di bawah gelas ukur ditempatkan sebuah neraca untuk menentukan massa jenis dari fluida yang mengalir. Selain itu di dalam tangki juga terpasang thermometer air raksa untuk mengukur temperatur fluida saat pengujian.

Fluida merupakan suatu zat yang tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja sehingga akan mengalami deformasi. Fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu :

Fluida Newtonian

Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva hubungan shear stress dan gradient kecepatan yang linier. Contoh fluida Newtonian adalah air, udara, ethanol, benzene, dan lain-lain. Fluida Newtonian akan terus mengalir dan viskositas fluida tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperature. Pada dasarnya fluida Newtonian adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dengan persamaan :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

dimana :

τ = Tegangan geser pada fluida (Pa)

μ = Viskositas dinamik fluida (m²/s)

Fluida Non-Newtonian

Fluida non-Newtonian adalah fluida yang memiliki kurva hubungan tegangan geser dengan gradient kecepatan tidak linear. Viskositas fluida ini tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur tetapi juga dipengaruhi oleh regangan geser dan lain-lain.

Persamaan dasar fluida non-Newtonian adalah :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n \quad (2)$$

dimana :

K= Indeks perilaku aliran

n = Power law indeks

Ketika aliran melewati awal ujung pipa, distribusi kecepatan didalam pipa mempunyai bentuk yang tidak teratur yang disebut aliran sedang berkembang. Kondisi ini akan semakin berubah seiring bertambahnya panjang dari inlet. Distribusi kecepatan yang terjadi masing mengalami perubahan bentuk kontur. Setelah aliran mengalami fully developed flow atau berkembang penuh, maka distribusi kecepatan akan seragam untuk jarak dari inlet semakin panjang. Untuk aliran laminar, panjang hidrodinamik untuk mencapai keadaan fully developed flow adalah kurang lebih 120 kali diameter dalam pipa.

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran. Hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energi dari fluida yang sering disebut dengan kerugian tekanan (head loss) atau penurunan tekanan (pressure drop) yang disebabkan oleh pengaruh kerugian gesekan fluida (friction losses) dan perubahan pola aliran. Pada kondisi aliran laminar, hambatan gesek tersebut hanya dipengaruhi oleh kekentalan fluida. Namun, pada aliran turbulent hambatan tersebut dipengaruhi oleh kekentalan fluida dan kekasaran permukaan pipa.

Volume fluida yang melalui suatu penampang dalam satuan waktu tertentu disebut dengan debit. Kecepatan aliran, luas penampang dan waktu menjadi faktor yang mempengaruhi debit. Persamaan untuk menghitung nilai debit adalah:

$$Q = \frac{U}{t} \quad (3)$$

atau debit juga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot U \quad (4)$$

dimana :

Q = debit aliran (m³/s)

A = luas penampang (m²)

U = kecepatan aliran (m/s)

t = waktu (s)

Densitas dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho_{nf} = \alpha \rho_p + (1 - \alpha) \rho_{bf} \quad (5)$$

dimana:

ρ_{nf} = densitas nanofluida (kg/m³)

ρ_p = densitas partikel nano (kg/m³)

ρ_{bf} = densitas fluida dasar (kg/m³)

α = fraksi volume partikel

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan:

$$\mu_{nf} = (1 + 2,5 \alpha) \mu_{bf} \quad (6)$$

dimana:

μ_{nf} = viskositas efektif nanofluida (Pa.s)

μ_{bf} = viskositas dinamik fluida dasar (Pa.s)

Viskositas suatu fluida adalah sifat yang menentukan besarnya daya tahan terhadap tegangan geser atau dapat didefinisikan sebagai ketahanan terhadap aliran. Ketahanan ini dipengaruhi oleh gaya tarik antara molekul – molekul dalam fluida tersebut.

Persamaan untuk menghitung viskositas kinematik suatu fluida adalah:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (7)$$

dan untuk menghitung viskositas kinematik pada nanofluida digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\nu = \frac{\mu_{bf}}{\rho_{nf}} \quad (8)$$

dimana:

ν = viskositas kinematik (m²/s)

μ = dynamic viscosity (kg.m/s)

μ_{bf} = dynamic viscosity of base fluid (kg/m³)

ρ_{nf} = density of nanofluid (kg/m³)

Reynolds number merupakan sebuah besaran tanpa dimensi yang digunakan untuk mengetahui atau memprediksi karakteristik dari suatu aliran fluida di berbagai situasi, Re number menyatakan perbandingan gaya inersia terhadap kekekntalan suatu fluida. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai dari Reynolds number antara lain, kecepatan aliran fluida (U), diameter dalam pipa (D_h) dan viskositas kinematik (ν). Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai Reynolds number fluida dalam suatu pipa adalah:

$$Re = \frac{U \cdot D_h}{\nu} \quad (9)$$

dimana:

Re = Reynolds number
 U = kecepatan aliran fluida (m/s)
 Dh = diameter dalam pipa (m)
 v = viskositas kinematik (m²/s)

Nilai Reynolds number dapat mengetahui karakteristik suatu aliran fluida apakah laminar atau turbulen.

Pada tahun 1883 Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter : kerapatan (ρ), kecepatan aliran (V), diameter (D), dan viskositas dinamik (μ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (f) dan kekerasan relatif dari dinding (ϵ/D).

$$f = \phi\left(\text{Re}, \frac{\epsilon}{D}\right) \quad (10)$$

Hambatan gesek menyebabkan kerugian jatuh tekanan, Δh . Nilai Δh ini didapatkan dari persamaan Darcy dan Weisbach (1806-1871):

$$\Delta h = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

Dimana f adalah faktor gesekan Darcy dan dapat ditentukan dengan rumus $f = 64/\text{Re}$ untuk aliran laminar. Terlihat hubungan yang linear antara faktor gesekan dengan bilangan Reynolds, sedangkan untuk aliran turbulen nilai faktor gesekan tersebut banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain misalnya kekasaran permukaan pipa. Kekasaran permukaan pipa menjadi faktor yang dominan dalam menentukan besarnya koefisien gesek yang terjadi. Nilai kekasaran permukaan dinotasikan dengan simbol ϵ dapat ditentukan dengan rumus:

$$\epsilon = \frac{e}{D} \quad (12)$$

dimana ϵ adalah kekasaran relatif.

Pengaruh kekasaran permukaan pipa diteliti secara luas pertama kali oleh Nikuradse. Hasil dari percobaannya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan sangat mempengaruhi aliran pada bilangan Reynolds tinggi, nilai faktor gesekan tergantung pada bilangan Reynolds. Von Karman menurunkan rumus untuk aliran turbulen dengan memasukkan kekasaran permukaan. Hasil dari penurunan rumus tersebut adalah:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 + 2 \log \frac{D}{e} \quad (13)$$

Persamaan Blasius juga menggambarkan nilai faktor gesekan untuk aliran turbulen yaitu:

$$f = 0.3164 \text{Re}^{-\frac{1}{4}} \quad (14)$$

Lewis F. Moody (1880-1953) mengembangkan hasil percobaan Nikuradse ke dalam bentuk model matematika dan berhasil memplot sebuah grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds pada aliran turbulen dengan variasi kekasaran permukaan.

Faktor gesekan (f) pada aliran juga akan mempengaruhi nilai penurunan tekanan (ΔP), berikut ini adalah

persamaan untuk menghitung nilai pressure drop khususnya

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} \quad (15)$$

dimana:

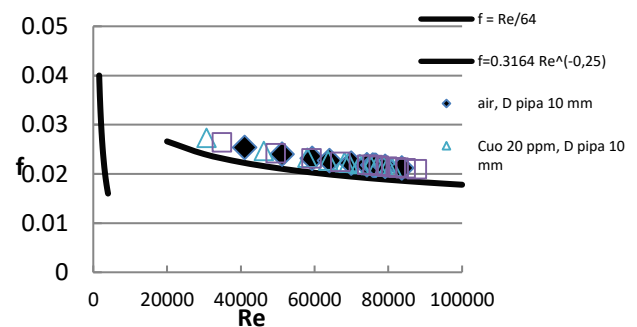
L = panjang pipa (m)
 D = diameter pipa (m)
 ρ = densitas fluida (kg/m³)
 v = velocity (m/s)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

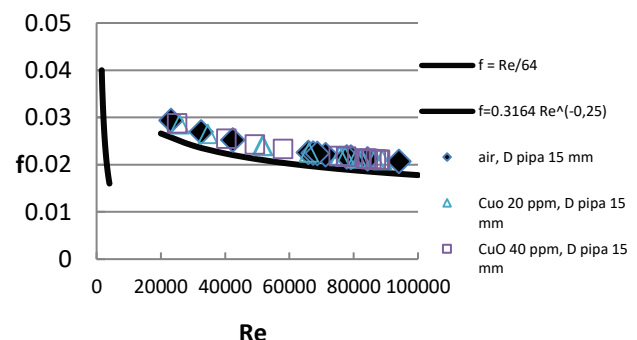
Nanofluida yang digunakan dalam pengujian ini adalah cupric oxide (CuO) nanofluid dan titanium dioxide (TiO₂) nanofluid dengan air sebagai fluida dasarnya. Konsentrasi nanofluida yang digunakan adalah part per million (ppm), pada pengujian ini variasi konsentrasi yang digunakan untuk setiap nanopartikel adalah 20 dan 40 ppm, dengan perhitungan sebagai berikut:

1 ppm = 1 mg nanoparticle per 1 liter fluida dasar

Gambar 2a dan 2b menunjukkan grafik hubungan antara faktor gesekan dengan bilangan Reynolds untuk fluida CuO yang mempunyai diameter 10 mm dan 15 mm pada konsentrasi 20 ppm dan 40 ppm.



Gambar 2a. Grafik hubungan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds untuk fluida CuO diameter dalam pipa 10 mm.

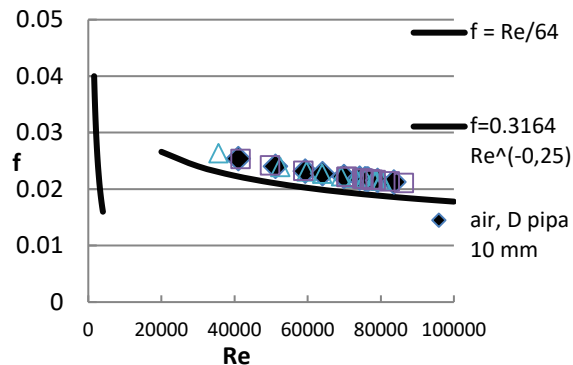


Gambar 2b. Grafik hubungan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds untuk fluida CuO diameter dalam pipa 15 mm.

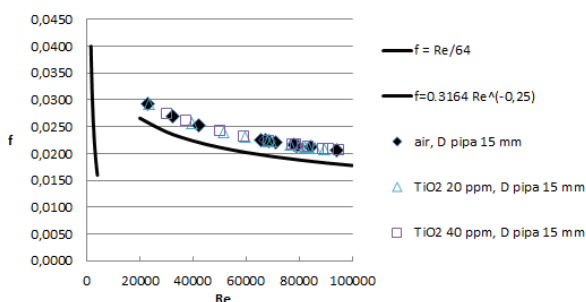
Gambar 2a dan 2b menjelaskan bahwa aliran fluida CuO dalam pipa mulus dengan diameter pipa 15 mm mempunyai faktor gesekan yang lebih kecil daripada pipa dengan diameter 10 mm sehingga kerugian jatuh tekan lebih kecil pada pipa dengan diameter yang lebih besar. Konsentrasi fluida CuO pada 40 ppm mempunyai faktor

gesekan yang lebih kecil daripada 20 ppm sehingga kerugian tekanan dan penurunan tekanan pada 40 ppm lebih kecil dibandingkan 20 ppm.

Grafik hubungan antara faktor gesekan dengan bilangan Reynolds untuk fluida TiO₂ yang mempunyai diameter 10 mm dan 15 mm pada konsentrasi 20 ppm dan 40 ppm ditunjukkan pada gambar 3a dan 3b berikut ini.



Gambar 3a. Grafik hubungan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds untuk fluida TiO₂ diameter dalam pipa 10 mm



Gambar 3b. Grafik hubungan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds untuk fluida TiO₂ diameter dalam pipa 15 mm

Faktor gesekan aliran fluida TiO₂ dalam pipa mulus dengan diameter pipa 15 mm lebih kecil daripada pipa dengan diameter 10 mm sehingga kerugian jatuh tekan lebih kecil pada pipa dengan diameter yang lebih besar seperti dijelaskan pada gambar 3a dan 3b. Fluida TiO₂ dengan konsentrasi 40 ppm mempunyai faktor gesekan yang lebih kecil daripada 20 ppm sehingga menyebabkan kerugian tekanan dan penurunan tekanan lebih kecil untuk konsentrasi fluida yang lebih tinggi.

Gambar 2a, 2b, 3a dan 3b menjelaskan bahwa pada diameter pipa yang lebih besar, penambahan partikel TiO₂ pada 20 ppm dan 40 ppm mempunyai faktor gesekan yang lebih kecil daripada penambahan dengan penambahan partikel CuO sehingga kerugian jatuh tekan pada fluida dengan penambahan partikel TiO₂ lebih kecil dibandingkan fluida dengan penambahan partikel CuO.

4. SIMPULAN

Semakin besar diameter pipa maka semakin kecil faktor gesekan sehingga mengakibatkan semakin kecil kerugian jatuh tekan.

Faktor gesekan aliran dalam pipa mulus dengan penambahan partikel TiO₂ lebih kecil daripada CuO pada bilangan Reynolds 2×10^4 hingga 10×10^5 .

Kerugian jatuh tekan aliran dalam pipa mulus dengan penambahan partikel TiO₂ lebih kecil daripada CuO pada bilangan Reynolds 2×10^4 hingga 10×10^5 .

Semakin besar konsentrasi partikel CuO dan TiO₂ dalam fluida maka semakin kecil kerugian jatuh tekan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Edelstein, A.S. (1999). Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications. IOP Publishing: Bristol.
- [2] Jayadevan, K.P. Tseng, T.Y. (2004). Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology. American Scientific: California.
- [3] Carl, C. Koch. (2007). Nanostuctured Materials: Processing, Properties and Applications, 2nd edition. William Andrew Inc: United State of America
- [4] Decker, S. Klabunde, K.J. (1996). J. American Chemical Society.
- [5] Siegel, R.W. (1993). Materials Science and Engineering.
- [6] Dutta, J. Reaney, I.M. Cabarrocas, P.R.I. and Hofmann, H. (1995). Nanostructured Materials.
- [7] Zhang, Qiaobao. Zhang, Kaili. (2014). CuO Nanostructures: Synthesis, Characterization, Growth Mechanisms, Fundamental Properties, and Applications. Progress in Material Science 60, 208 – 337: Hongkong.
- [8] Prakash, S B. Kotin, Kiran Ningappa. Kumar M, Praveen. (2016). Preparation and Characterization of Nanofluid (CuO – Water, TiO₂ – Water). International Journal Science and Engineering.
- [9] Thamaphat, Khaemrutai. (2008). Phase Charaterization of TiO₂ Powder by XRD and TEM. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 42: 357 – 361.
- [10] Xuan, Yimin. Li, Qiang. (2000). Heat Transfer Enhancement of Nanofluids. International Heat Transfer of Heat and Fluid Flow 21: 58 – 64.
- [11] Munson, B. R. (2000). Fundamental of Fluid Mechanics 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc.: United State of America.

